

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO-TEHNOLOŠKI FAKULTET**

ZAVRŠNI RAD

**TRANSFORMACIJE I POVEZANOST RAZLIČITIH SUSATAVA ZA
DEFINIRANJE BOJE**

Ida Novak

Zagreb, rujan 2018. godine

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
TEKSTILNO – TEHNOLOŠKI FAKULTET
ZAVOD ZA TEKSTILNO – KEMIJSKU TEHNOLOGIJU I
EKOLOGIJU**

ZAVRŠNI RAD

**TRANSFORMACIJE I POVEZANOST RAZLIČITIH SUSATAVA ZA
DEFINIRANJE BOJE**

MENTOR:

Izv. prof. dr. sc. MARTINIA IRA GLOGAR

STUDENT:

IDA NOVAK, 9669

Zagreb, lipanj 2018. godine

TEMELJNA DOKUMENTACIJSKA KARTICA

Institucija u kojoj je izrađen završni rad: Sveučilište u Zagrebu
Tekstilno – tehnološki fakultet
Zavod za tekstilno – kemijsku tehnologiju i ekologiju

Jezik teksta: hrvatski

Broj stranica: 38

Broj slika: 18

Broj tablica: 1

Broj literaturnih izvora: 14

Mentor završnog rada: Izv. prof. dr. sc. Martinia Ira Glogar,

Članovi povjerenstva: Izv. prof. dr. sc. Ana Sutlović,
Doc. dr. sc. Karlo Lelas
Izv. prof. dr. sc. Sanja Ercegović Ražić

Datum obrane rada: 28.09.2018.

SAŽETAK

Analiziraju se počeci objektivnog definiranja boja i njihova pozicija u određenom prostoru boja. Razmatraju se osnovni CIE standardi i CIE prostori boja. Proučava se evolucija CIE prostora boja u dvadesetom stoljeću prema uniformnim prostorima boja. Proučavaju se prostori boja, kao i transformacije vrijednosti jednog prostora boja u drugi.

Ključne riječi: boje, CIE standardi, CIE prostori boja

SUMMARY

The beginnings of objective color definition and their position in a given color space are analyzed. Basic CIE standards and CIE color spaces are considered. The evolution of CIE color space in the twentieth century is studied in uniform color spaces. Color spaces, as well as the transformation of the value of a color space into the other, are studied.

Key words: colors, CIE standards, CIE color spaces

SADRŽAJ

1. UVOD	1
METODE ISTRAŽIVANJA.....	3
2. POJAVNOST BOJE	4
2.1 Karakteristike boje	6
2.2 Sustav upravljanja bojom	10
2.3 Osnovna podjela sustava (modela) boje	12
2.4 Uređaji za mjerenje boje	13
3. CIE STANDARDI	18
3.1 Prostori boja	21
3.2 CIE XYZ prostor boja	23
3.3 RGB prostori boja	28
3.4 HSV prostor boja.....	30
4. UPRAVLJANJE PROSTOROM BOJE.....	32
4.1 Referentni prostor boja.....	33
4.2 Usklađivanje boje	34
4.3 Kontrola kvalitete reprodukcije boja.....	35
ZAKLJUČAK	37
LITERATURA.....	38

1. UVOD

Osjet boje je, za ljude, psihofizički doživljaj koji ovisi o više faktora kao što su, primjerice, izvor svjetlosti, psihološki i fiziološki uvjeti u kojima se promatrač nalazi, kao i karakteristikama promatranog objekta. Boja se tako može odrediti kao svojevrsan psihofizikalni događaj koji se potencira svjetlom. Također se može odrediti kao osjećaj što u mozgu stvara svjetlost odaslana od strane nekog izvora, ili se reflektira sa površine nekakvog objekta. Doživljaj boje ovisan je o više čimbenika, od kojih se ističu:

- spektralni sastav svjetla što pada na određeni objekt
- molekularna struktura materijala sa kojeg se svjetlo propušta ili reflektira
- osjet boje u čovjeka, ponajviše pomoću receptora kao što su oči.

Želja za istraživanjem i dubljom analizom boja se javila sa većim razvojem tehnologije, iako su u primitivnijim vremenima ljudi razvijali razne tehnike pomoću kojih će stvarati odjeću, primjerice, u raznim bojama, kao pripadnost određenom plemenu tj. zajednici.

Međunarodna komisija za rasvjetu (*Commission internationale de l'éclairage*, kratica CIE) je nezavisna neprofitabilna organizacija koja se bavi tehničkim i znanstvenim ikulturološkim aspektima rasvjete, svjetla, boje i prostora boja. Definira tri primarne hipotetske boje koje ne postoje i nisu vidljive, kako bi se izbjegli negativni koeficijenti pri računanju i određenju koordinata u dijagramu. Boja se označava s XYZ. Pojavom digitalnih tehnologija, tradicionalne metode više nisu bile dovoljne za kvalitetno upravljanje bojom, te se javlja potreba za razvojem novih strategija. Prostor boja je metoda kojom se može odrediti, kreirati i vizualizirati boja. Ljudi mogu definirati boju određenim svojstvima svjetlosti, nijansi i kolorističnosti. Računalo može opisati boju pomoću količine crvene, zelene i plave emisije fosfora potrebne za usklađivanje boje. Najčešći modeli boja su RGB, CMYK, HSV, a dizajnirana su za određene aplikacije i imaju svoje prednosti i ograničenja. Kontrola kvalitete obojenja provodi se na temelju instrumentalnog mjerenja boje i objektivnog vrednovanja parametara boje i razlika među njima. Metode kvantificiranja parametara boje i razlika među njima koriste intervalnu skalu koja mjerene razlike vrednuje približno u skladu s vizualnim razlikama.

Boja se određuje tako da se odrede njene koordinate u sustavu boja, primjerice CIEXYZ, CIEL*a*b*i RGB. Sustav boja ili model boja je način pomoću kojeg se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje. CAT (eng. *Color adaptation transform*) je metoda kojom se računaju vrijednosti odgovarajuće boje pod referentnim izvorom svjetla za neki podražaj određen pod

testnim izvorom svjetla. Ova se pak metoda temelji na hipotezi Johannesea von Kriesa (1853. – 1928.g.).

Sustavi boja nose kratice - RGB, CMYK, HLS. RGB sustav je skraćeni naziv za

- R - red - crveno
- G - green - zeleno
- B - blue – plavo.

Ovo je aditivni sustav boja, za razliku od CMYK sustava koji je subtraktivan, i nastaje kao skraćenica riječi/boja

- C - cyan - cijan
- M - magenta - purpurnocrvena
- Y - yellow - žuto
- K - black – crno.

Smjesa pigmenata apsorbira određene valne duljine i reflektira preostale npr. cyan filtrira crvenu boju pa ostaju plava i zelena. Zeleni papir je zelen jer reflektira zelenu boju, a apsorbira ostale. Ukoliko su filtrirane sve boje, preostaje crna.

HLS, HIS, HSV sustav također nastaje kao kratica riječi:

- H (hue) nijansa boje, tonalnost, ime spektralne boje
- L (lightness, luminance) svjetlina
- I (intensity) intenzitet
- S (saturation) zasićenje - koliko je boju razrijedila bijela, odnosno siva svjetlost.

Svaki od navedenih sustava ima razne kriterije i metode vrednovanja. Ipak, bez obzira na razlike, svi su međusobno povezani te na razne načine koreliraju.

Predmet i ciljevi rada su postavljeni u skladu sa navedenom temom rada. Istražuju se i analiziraju diferencijacije u sustavima za definiranje boja, njihova povezanost i međusobni utjecaj. Koristi se literatura domaćih i stranih autora, od akademskih radova do web poveznica.

METODE ISTRAŽIVANJA

U ovome radu korištene su:

- metoda indukcije - na temelju pojedinačnih ili posebnih činjenica dolazi se do zaključka o općem sudu. Prilikom pisanja ovog rada indukcija će se koristiti za donošenje zaključaka na temelju prikupljenih podataka i literature;
- metoda dedukcije - iz općih stavova izvode se posebni i pojedinačni zaključci. Dedukcija uvijek pretpostavlja poznavanje općih znanja na temelju kojih se spoznaje ono posebno ili pojedinačno;
- metoda analize i sinteze - analiza je raščlanjivanje složenih pojmova, sudova i zaključaka na njihove jednostavnije sastavne dijelove te izučavanje svakog dijela za sebe i u odnosu na druge dijelove. Sinteza je postupak znanstvenog istraživanja putem spajanja dijelova ili elemenata u cjelinu, sastavljanja jednostavnih misaonih tvorevina u složene;
- metoda dokazivanja - misaono sadržajni postupak kojim se utvrđuje istinitost pojedinih spoznaja, stavova ili teorija. Ovom metodom će se služiti u dokazivanju (ne)točnosti postavljene istraživačke hipoteze;
- metoda deskripcije - postupak opisivanja činjenica te empirijsko potvrđivanje njihovih odnosa;
- metoda komparacije - način uspoređivanja istih ili srodnih činjenica, tj. utvrđivanje.

2. POJAVNOST BOJE

Pod pojmom pojavnost boje podrazumijevamo kako promatrač percipira to jest shvaća neku boju dok pojam specifikacije boje apsolutno određuje neku boju što ne znači da dobro opisuje boju točno onako kako ju promatrač vidi. Boja se specificira na način da odredimo njene koordinate u sustavu boja (npr. CIEXYZ, CIEL*a*b*, RGB). Sustav boja ili model boja je način pomoću kojeg se definiraju, stvaraju i vizualiziraju boje. CAT (eng. *Color adaptation transform*) je metoda kojom se računaju vrijednosti odgovarajuće boje pod referentnim izvorom svjetla za neki podražaj određen pod testnim izvorom svjetla.

Ljudsko oko sastoji se od leće koja fokusira ulazne zrake svjetla, od promjenjivog otvora šarenice (irisa) koji se naziva zjenica (pupila) – pupilarni refleks, tj. stezanje ili opuštanje mišića koji određuje promjer otvora zjenice i na taj način određuje količinu primljenog svjetla, te od milijuna svjetlosno osjetljivih elemenata raspoređenih po unutarnjoj površini mrežnice (retine) i živčanog sustava koji prenosi impulse od tih receptora do mozga. Na mrežnici se nalaze dvije vrste fotoosjetljivih receptora: štapići i čunjići, koji zajednički pretvaraju svjetlosnu energiju u živčane impulse. U oku postoji oko 75 do 150 milijuna štapića i oko 5 do 8 milijuna čunjića. Štapići su razmješteni prema vanjskom rubu mrežnice i osjetljivi su osobito na niske svjetlosne razine, a neosjetljivi na boje i dosta su niske razlučivosti. Čunjići su koncentrirani na relativno malom, središnjem prostoru mrežnice, poznatom kao žuta pjega (lat. *fovea centralis*) i u stanju su razlikovati boje. Gledanje pomoću čunjića mnogo je jasnije i oštrije od gledanja štapićima, ali moguće je samo pri relativno visokim svjetlosnim razinama. Prema trikromatskoj teoriji gledanja postoje tri vrste čunjića koji sadrže pigmente čija glavna apsorpcija leži po prilici u području kratkih valnih dužina vidljivog spektra za plave boje, u području srednjih valnih dužina vidljivog spektra za žuto-zelene boje i u području dugačkih valnih dužina vidljivog spektra za žuto-crvene boje. Za svaki od ta tri tipa receptora moguće je konstruirati teorijske krivulje spektralne osjetljivosti. Te se krivulje preklapaju. Boja je percipirana podražajem na plave, zelene i crvene receptore. Smatra se da su ti receptori raspoređeni na mozaičan način. Nisu raspoređeni jednoliko na mrežnici. Postoji oko 3,5 milijuna čunjića za srednje i dugačke valne dužine vidljivog spektra i oni se nalaze u sredini mrežnice. Za kratke valne duljine vidljivog spektra postoji samo oko 1 milijun čunjića raspoređenih prema rubu mrežnice. Iz toga proizlazi da čovjek lakše fokusira crvene, žute i zelene objekte nego plave. Ako se podraže zeleni i crveni receptori, ali

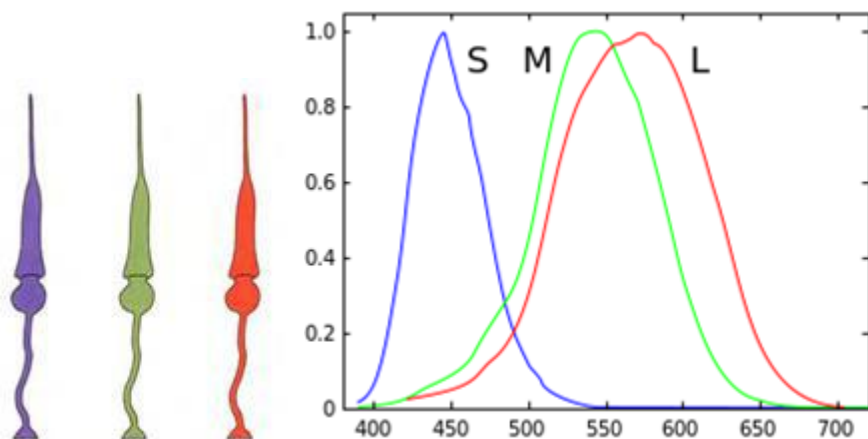
ne i plavi, doživjet će se osjet žutoga. Normalni promatrač može razlikovati svaku boju kao određenu mješavinu svih triju valnih dužina¹.

Crvena, zelena i plava boja nazivaju se osnovnim ili primarnim bojama jer se njih ne može dobiti miješanjem drugih boja. Te se boje nazivaju i aditivni primari, jer zbrajanje svjetlosnih snopova tih boja daje bijelu i sve ostale boje vidljivog spektra. Takvim se zbrajanjem različitih boja svjetla, u različitim omjerima, mogu dobiti sve ostale boje, u svim nijansama i svjetlinama. Takav se način nastanka boja naziva aditivnim. Tim načinom nastaju boje na ekranu televizora ili monitora. Međusobno miješanje snopova svjetala primarnih boja dovodi do pojave nekih novih boja svjetla. Crveni snop pomiješan sa zelenim snopom postaje žut. Crveni snop pomiješan s plavim snopom postaje magenta (grimizan). Zeleni snop pomiješan s plavim snopom postaje cijan (plavozeleni). Boje svjetla (žuta, magenta i cijan) nastale su kao rezultat miješanja aditivnih primara, a nazivaju se suptraktivnim primarima. Tim načinom nastaju boje u offset tisku, pisačima s mlazom tinte i drugim uređajima koji koriste suptraktivno miješanje boja¹.

Iduća slika (1.) ukazuje na osjetljivost čunjića u idućim vrijednostima:

- S – kratke (short) valne duljine – čunjići maksimalno osjetljivi na svjetlost valne duljine 445 nm (tj. plavi dio spektra)
- M – srednje (medium) valne duljine – maksimalno apsorbira zelenu svjetlost valne duljine 535 nm
- L – duge (long) valne duljine – maksimalno apsorbira crvenu svjetlost valne duljine 570 nm

¹ Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 3.



Slika 1. Tri vrste čunjića i relativna spektralna osjetljivost čunjića. Izvor: Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 8.

2.1 Karakteristike boje

Boje se mogu definirati svojim uobičajenim imenima, ali i opisnim, literarnim izvedenicama, ali to ne govori ništa o njihovim izražajnim vrijednostima. Stoga postoje tri atributa koji uže definiraju svaku boju¹:

- ton boje ili tonalnost boje,
- zasićenost ili saturacija,
- svjetlina ili luminancija.

Ton boje označava vrstu boje, tj. boju samu po sebi. Definira se kao kromatska kvaliteta boje, odnosno kvaliteta kojom se jedna boja razlikuje od druge. Da bi se objasnili pojmovi zasićenost i svjetlina, najprije je potrebno boje podijeliti u dvije osnovne skupine. U prvoj skupini nalaze se prave boje, kao što su crvena, narančasta, žuta, zelena, plava itd., koje se nazivaju kromatskim bojama, ili jednostavno bojama. U drugoj skupini nalaze se crna, siva i bijela, koje se nazivaju akromatskim bojama, ili jednostavno nebojama. One čine skalu koja seže od crne, preko sive, do bijele. Neke od kromatskih boja su tamnije ili svjetlije od drugih i

¹Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 1.

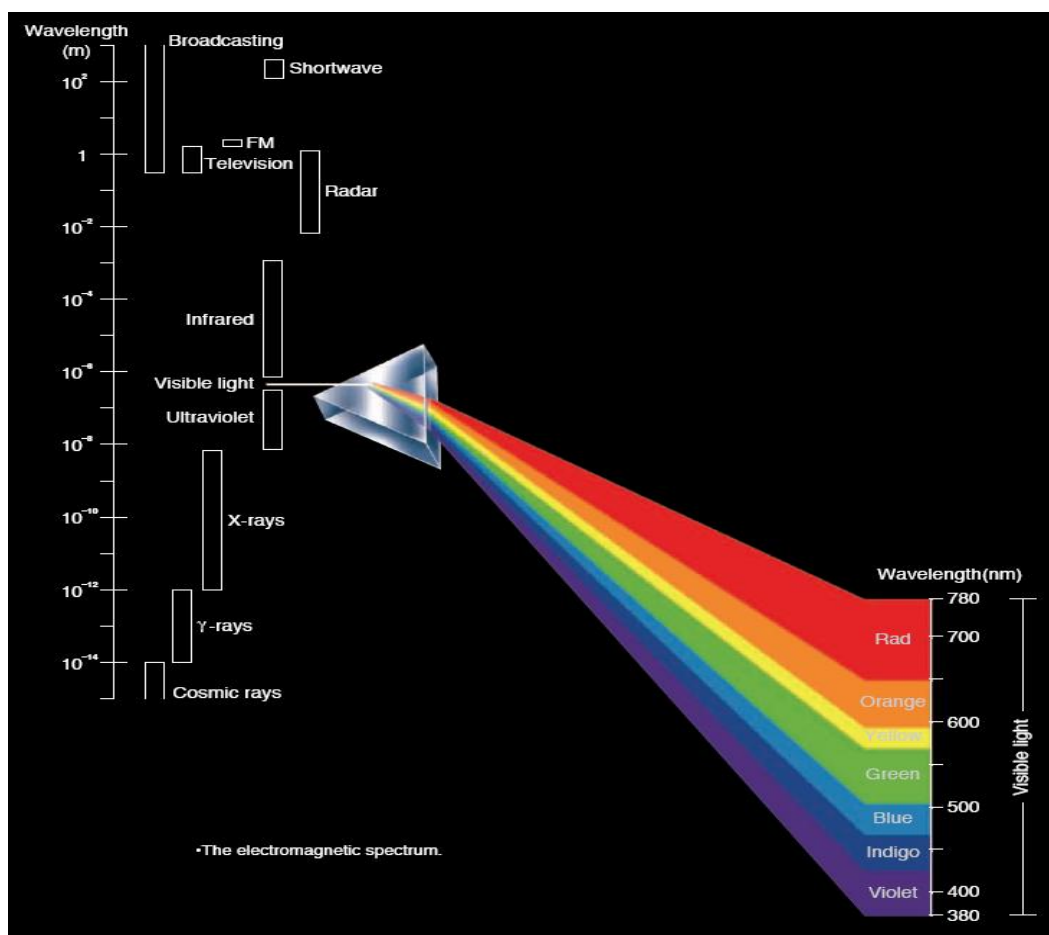
moгуće je uspoređivati svaki stupanj njihove svjetline sa svjetlinom sive akromatske boje. Ta se osobina naziva svjetlina ili luminancija. To je relativna količina svjetla (bilo koje valne dužine) koju boja prividno emitira. To je kvaliteta kojom se razlikuje svjetla boja od tamne boje. Ako se neka kromatska boja miješa s akromatskom bojom jednake svjetline, svjetlina boje ostaje ista. Nastala promjena u kvaliteti, odnosno čistoći boje, ovisi o relativnoj količini ovih dviju komponenata. Ta se osobina naziva zasićenost ili saturacija. To je stupanj do kojeg se boja čini čistom¹.

Svjetlo je elektromagnetsko zračenje koje se opaža vidnim osjetnim sustavom. To je energija zračenja, nastala atomskim promjenama u fizikalnoj strukturi materije, koja se rasprostire od svog izvora u svim smjerovima i širi u obliku valova. Ono na što se obično misli kada se kaže "svjetlo" jest bijelo svjetlo. Ono što se obično percipira kao bijelo svjetlo nije homogeno – to je mješavina svih valnih dužina vidljivog spektra od 400 nm do 700 nm u približno jednakim omjerima. Padne li takvo svjetlo na komad bijela papira, on će reflektirati sve valne dužine, pa će i svjetlo što se od njega reflektiralo izgledati bijelo. Ako neki predmet apsorbira sve valne dužine, a ni jednu ne reflektira, izgledati će crn. Apsorbira li neki predmet sve valne dužine, osim one koja predstavlja osjet crvene boje, te samo nju reflektira, takav će predmet izazvati u čovjekovim osjetilima osjet crvenog. Koje će valne dužine svjetla biti apsorbirane a koje reflektirane ovisi o molekularnoj strukturi materijala na koje svjetlo pada. Klasični spektar razlikuje sedam boja: crvenu, narančastu, žutu, zelenu, plavozelenu, plavu i ljubičastu. Broj boja i njihovih nijansi u prirodi je neizmjeran, budući da veoma mala promjena valne dužine stvara novu i drukčiju boju¹.

Sunce emitira elektromagnetsko zračenje različitih valnih duljina (slika 2.). Ljudsko oko osjetljivo je samo na mali dio tog spektra, na vidljivi dio spektra, tzv. bijelo svjetlo (cca 380 do 750 nm; slika 3.).

¹Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 1.

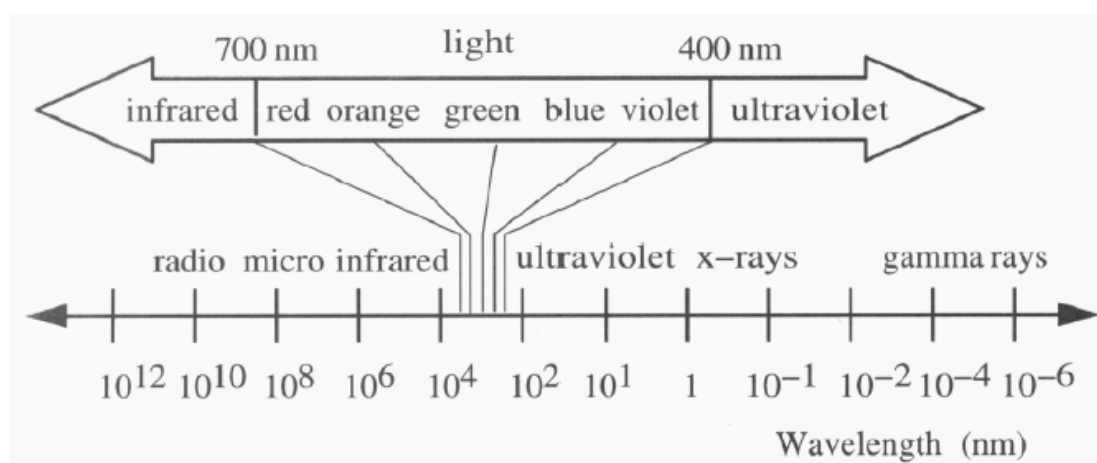
¹ibid, str. 2.



Slika 2. Elektromagnetski spektar. Izvor: Strgar Kurečić, M. Kontrola boja -od percepcije do mjerenja. str. 5.

Značajan pomak u definiranju boja uslijedio je 1666. godine kada je Isaac Newton razvio kružni dijagram po uzoru na lom svjetlosti prolaskom zrake kroz staklenu prizmu. Budući da se pritom bijela svjetlost razlaže na spektar boja, Newton se poslužio tim konceptom kako bi izradio krug boja u kojemu se svaka boja može precizno označiti. Brojni znanstvenici i umjetnici kasnije su oblikovali varijacije njegovog koncepta. Newtonov krug boja temelji se na crvenoj, žutoj i plavoj boji koje se nazivaju primarnim bojama koje se ne mogu dobiti miješanjem drugih boja, dok sve ostale mogu biti dobivene iz spomenute tri. Sekundarne su boje prema tome, zelena, narančasta i ljubičasta koje se dobivaju miješanjem primarnih boja, dok terciarne (žuto – narančasta, crveno – narančasta, crveno – ljubičasta, plavo – ljubičasta, plavo – zelena i žuto – zelena) nastaju miješanjem primarnih i sekundarnih. Ovakvo miješanje

boja kao snopova svjetlosti naziva se aditivnim miješanjem i primarno se događa u oku, a tim senačinom koriste i televizija, računala, mobiteli te drugi uređaji koji imaju vlastiti izvor svjetlosti. Analogne odnosno slične boje su bilo koje tri boje koje se nalaze jedna do druge u 12-dijelnom krugu koji čine primarne, sekundarne i terciarne boje. Osim ustaljenih naziva za boje koje čine standardnu paletu, imenovanje ostalih koje se broje na milijune proizlazi prvenstveno iz asocijacija na predmete iz ljudske svakodnevice, pa se tako često govori o boji lososa, vanilije, pijeska, boji fuksije i limeta-zelenoj².



Slika 3. Vidljivi spektar. Izvor: Fer.hr. Grafički protočni sustav.

zemris.fer.hrwww.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/9_boje.pdf ; str. 6.

U krugu boja lako se može zamijetiti i njihov polaritet, a prva suprotnost koja se opaža je podjela na tople i hladne, što se očituje i u usporedbi s karakteristikama godišnjih doba. Plava, ljubičasta i zelena hladne su boje koje stvaraju privid odmicanja od promatrača, dok crvena, žuta i narančasta kao tople boje odaju dojam blizine. Također, podjela se može proširiti na svijetle i tamne, aktivne i pasivne te na mnoge druge načine. Navedeni polaritet dovodi do različitog djelovanja boja na čovjeka, a ono može biti fizičko i psihološko².

Iduća tablica (1.) ukazuje na spektralnu boju i dužinu istih:

²Tkalac Verčić, A.; Kuharić Smrekar, A. (2007) Boje u marketinškoj komunikaciji: određenje uloge boje kao medijatorne varijable u procesu komunikacije. Tržište 19, 2(2007), Vol. XIX (2007), br. 2, str. 201 - 211

²ibid

Spektralna boja	Valna dužina
Ljubičasta	400 - 450
Plava	450 - 500
Zelena	500 - 570
Žuta	570 - 590
Narančasta	590 - 610
Crvena	610 – 700

Tablica 1. Izvor: Fer.hr. Grafički protočni sustav.

zemris.fer.hrwww.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/9_boje.pdf; str. 7.

2.2 Sustav upravljanja bojom

Najprecizniju nomenklaturu boja izradio je 1915. godine američki slikar Albert Munsell izgradivši trodimenzionalni sustav u obliku stabla čime započinje kolorimetrija, grana znanosti koja se bavi proučavanjem i određivanjem boje u cilju stvaranja standarda neophodnih za mnoge ljudske djelatnosti. Boje su u tom sustavu klasificirane prema njihovim karakteristikama, a to su kromatska kvaliteta, svjetlina i zasićenost. Prvo od nabrojanih svojstava, kromatska kvaliteta (eng. *hue*) naziva se još tonom ili obojenošću. Označava ono što obično podrazumijevamo pod bojom nekog predmeta i po čemu se jedna boja razlikuje od druge, a određena je valnom duljinom ili frekvencijom svjetlosnog vala. Munsellovo stablo sadrži dvadeset tonova prikazanih u obliku grana, odnosno pet osnovnih boja (crvena, žuta, zelena, plava i ljubičasta) te petnaest međutonova³.

Svjetlinu boje (eng. *value*) određuje amplituda svjetlosnog vala, a kvaliteta je koja razlikuje svijetlu od tamne boje. Na Munsellovom prikazu označava se kao udaljenost pojedinog obojenog kvadratića od vrha krošnje, pri čemu je boja svjetlija što je bliže vrhu. Ukoliko se neka kromatska boja miješa s akromatskom bojom jednake svjetline, svjetlina ostaje ista, no mijenja se čistoća boje koja ovisi o međudjelovanju ove dvijekomponente. Što je veći udio akromatske boje to je novonastala boja manje izražajna. Navedeno svojstvo opisuje posljednja kategorija ove *sheme*, zasićenost (eng. *saturation*) boje koju definira udaljenost od središta

³Šela, D. (1999) Crtanje, pismo, boje i djelovanje boja: priručnik o prostoručnom crtanju, crtanju perspektive, ukrasnom pismu i znanosti o bojama. Zagreb : vlast. nakl., 1999., str. 120-121.

stabla u vodoravnom smjeru³. Promjena bilo kojeg od ova tri svojstva boje dovodi do pomaka koji se naziva nijansom. Ovakva standardizacija nazivlja omogućuje internacionalnu primjenu pa se Munsellov sustav danas praktično primjenjuje u mnogim djelatnostima i područjima djelovanja i omogućava razumijevanje i jednoznačnost. Prema tome, ako primjerice engleski proizvođač tkanina naruči boje za tekstil od talijanske tvrtke uporabom šifre "Munsell 5R 3/14", primatelj narudžbe shvatit će da je riječ o srednje crvenoj boji umjerene svjetline, prilično zasićenoj, točnije 14 koraka od sive čime je tražena boja jasno definirana³.

Sustav za upravljanje bojom (*Color Management system*) je programska podrška za kalibraciju i karakterizaciju svih ulaznih i izlaznih uređaja koje koristimo za prikaz boja, te automatsku konverziju boja među njima, s ciljem standardizacije i reprodukcije boja neovisne o korištenom uređaju. Korištenje standardiziranog sustava za upravljanje bojom nužno je iz razloga što razni uređaji (digitalna kamera, skener, monitor, printer, tiskarski stroj) drugačije prikazuju boju. Sustav za upravljanje bojom čine⁴:

- referentni prostor boja (*Profile Connection Space – PCS*, npr. CIEXYZ, CIELAB)
- modul sa algoritmima za usklađivanje boja (*Color Management Module - CMM*)
- ICC profili.

Da bi se ostvarila točna reprodukcija boja između dva uređaja, prvo je potrebno vrijednosti boja koje daje uređaj transformirati u model boja neovisan o uređaju (CIELAB ili CIEXYZ) i tek onda iz tog modela boja ponovo napraviti konverziju u "o uređaju ovisan" model boja (RGB). Boja je psihofizičko svojstvo, što znači da će isti uzorak pod jednakim osvjetljenjem dva različita promatrača percipirati drugačije ili čak isti promatrač, ali u različitim dijelovima dana. Iz tog razloga, potrebno je eliminirati tu promjenjivost kako bi se opisala boja. Osjetljivost čunjića je za svaku boju drugačija.

³ Šela, D. (1999) Crtanje, pismo, boje i djelovanje boja: priručnik o prostoručnom crtanju, crtanju perspektive, ukrasnom pismu i znanosti o bojama. Zagreb : vlast. nakl., 1999., str. 120-121.

³ ibid

⁴ Strgar Kurečić, M (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb

2.3 Osnovna podjela sustava (modela) boje

Kolorimetrija je znanost koja se bavi kvantitativnim vrednovanjem ili mjerenjem boja. Uvodno je objašnjeno kako boja nije svojstvo fizičkog svijeta, već psihički doživljaj izazvan fizičkim podražajem (stimulusom). Stoga je ono što se zapravo mjeri podražaj, tj. svjetlost koja je ušla u promatračevo oko i u njegovom mozgu proizvela doživljaj boje. Kolorimetrija danas ima dva važna zadatka – brojčano izražavanje razlike dviju boja te izradu normi i dopuštenih odstupanja. Točna reprodukcija boje komercijalno je vrlo značajna jer mnogi se proizvodi identificiraju upravo bojom. Jezično se može opisati samo nekoliko boja, a uobičajeno je da se ljudi ne slažu prilikom razlikovanja i opisivanja boja. Stoga postoji težnja da se temeljem teorije boja razvije standard koji će omogućiti numeričko izražavanje boje na način kako se, primjerice, izražava duljina ili masa predmeta u svrhu što jednostavnije komunikacije⁵.

Modeli (sustavi) boje su trodimenzionalni prikazi boja uz pomoć kojih je moguće pobliže odrediti i vizualizirati sve vidljive boje i one koje se mogu koristiti u određenom reprodukcijском sustavu.

Prema klasifikaciji modeli boje mogu biti podijeljeni u dvije osnovne grupe:

- aditivni - modeli boja ovisni o uređaju, kod kojih se boja dobiva zbrajanjem pojedinih komponenti (npr. RGB ili CMY)
- subtraktivni - modeli kod kojih se boja dobiva oduzimanjem pojedinih komponenti i oni su neovisni o uređaju (to su CIE prostori boja kao npr. CIEXYZ, CIEL*a*b* ili CIEL*u*v*)

Modeli boja koji su ovisni o uređaju na kojem se primjenjuju, orijentirani su na fizičke komponente i karakteristike samog uređaja, tj. ovise o kromatskim karakteristikama seta primarnih boja koji se koristi kod procesa bojanja. Prostori boja neovisni o uređaju, definiraju boju na bazi percepcije standardnog promatrača, a ne na mogućnostima uređaja.

⁵ Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 9.

2.4 Uređaji za mjerenje boje

Na tržištu je dostupno mnogo različitih uređaja za indirektno određivanje boje. Većina njih dizajnirani su tako da se određivanje boje vrši direktnim kontaktom uređaja i uzorka. Uređaji za indirektno određivanje boje koji se često primjenjuju u praksi su kolorimetar/kromametar, denziometar, spektrofotometar. Ovi instrumenti se uspješno koriste za određivanje boje homogenih uzoraka.

U posljednje vrijeme sveopćom implementacijom računala i razvojem tehnologije, spektrofotometrija je postala neizostavna tehnika za brojne analize. Ultraljubičasta (UV) i vidljiva apsorpcijska (VIS) spektroskopija primjenjuje se za kvantitativnu, ali i za kvalitativnu analizu. To je najčešće primjenjivana metoda u kemijskim i kliničkim laboratorijima svijeta od bilo kojeg drugog pojedinačnog postupka. Temelji se na ovisnosti energije zračenja i kemijskog sastava tvari. Za određivanje u UV, Vis i IR dijelu spektra upotrebljavaju se instrumenti – spektrofotometri. Najvažniji dijelovi instrumenta koji se primjenjuju u apsorpcijskoj spektrofotometriji jesu: izvor svjetlosti, monokromator, kivete i držači za kivete, uređaj za mjerenje intenziteta propuštene svjetlosti (detektor)⁶.

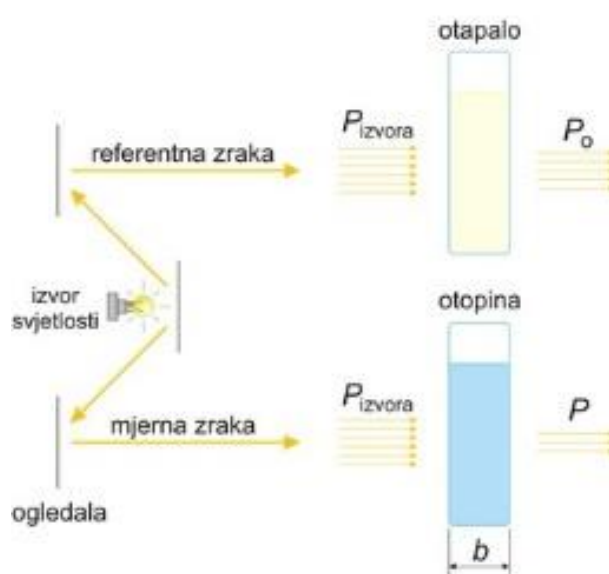
U spektrofotometriji (slika 4.) za vidljivi dio spektra najčešće se upotrebljava lampa s volframovom niti, dok se za ultraljubičasti dio spektra upotrebljava deuterijeva lampa. Spektrofotometar je uređaj koji mjeri promjene u refleksiji, transmisiji ili zračenju, u intervalima, duž valnih duljina vidljivog dijela spektra. Kao rezultat mjerenja faktora refleksije ili transmisije u pojedinim valnim područjima (intervalima) dobiva se spektrofotometrijska krivulja. Prilikom određivanja boja najčešće se primjenjuju spektrofotometrijske krivulje u valnom području od 400 nm do 700 nm. Refleksija ili transmitancija mjere se u intervalima svakih 10 nm na području od 400 do 700 nm. Rezultat se izražava kao postotak, čiji maksimum iznosi 100 %. Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se odrediti boja⁶.

Kako čovjekovo oko vidi boju, ovisi o stimulaciji receptora za crvenu, zelenu i plavu komponentu, pa su zato potrebne tri vrijednosti kako bi se opisale sve moguće boje. Ako se

⁶ Mihoci, M. (2015) Spektrofotometrijsko određivanje boje. Osvrti, Kem. Ind. 64 (11-12) (2015) 681–694

⁶ ibid

zamisli da su primarne boje na osima trodimenzionalnog sustava, nastaje sustav boja. Stručnjaci su razvili mnoge sustave boja, a svaki ima svoje prednosti i mane. Ključni sustavi su međunarodno standardizirani, pa se primjenjuju u industrijskoj proizvodnji. Najraširenija je primjena XYZ i CIE $L^*a^*b^*$ sustava boja. U XYZ sustavu boja primjenjuju se X, Y i Z oznake za komponente boje, pri čemu X i Y oznaka označavaju koordinate boje, a Z svjetlinu. Položaj boje unutar prostora boja može se definirati precizno primjenjujući ove tri koordinate. No iz kromatskog dijagrama nije moguće odrediti koliko se boje razlikuju jer prostor boja nije percepcijski jednoličan. Iz tog razloga bilo je potrebno razviti prostore boja s ujednačenim percepcijskim razmacima⁶.



Slika 4. Princip rada. Izvor:

[glossary.periodni.comhttps://glossary.periodni.com/images/spektrofotometar.jpg](https://glossary.periodni.com/images/spektrofotometar.jpg)

CIE $L^*a^*b^*$ prostor boja zasnovan je na suprotnoj teoriji boja. Funkcija svjetline L^* daje skalu neutralne boje od crne do bijele (od 0 do 100 jedinica svjetline), a kromatičnost boje definira se u odnosu na neutralnu os koja ima vrijednost 0 kromatičnosti. CIE a^* je koordinata za crvenu-zelenu, a CIE b^* za žutu-plavu. CIE $L^*a^*b^*$ svoju primjenu nalazi u formuli boja, procesnoj kontroli i kontroli kvalitete. Svaka boja definira se svjetlinom i kromatičnošću s tri točke na svakoj osi. Kako bi se došlo do CIE $L^*a^*b^*$ prostora boja, potrebna je računska

⁶ Mihoci, M. (2015) Spektrofotometrijsko određivanje boje. Osvrti, Kem. Ind. 64 (11-12) (2015) 681–694

operacija primjenjujući XYZ vrijednosti za objekt i bijelu točku izvora svjetlosti X_o, Y_o, Z_o . Suvremeni spektrofotometri sadrže informacije o CIE standardnom promatraču, krivuljama spektralne emisije za mnoge standardne izvore svjetla i mikroračunalo za izračunavanje CIE tristimulusnih vrijednosti. Na temelju CIE koordinata koje se mogu izračunati za boje pod različitim izvorima svjetla, može se odrediti boja⁶.

Apsorpcija svjetlosti kroz otopine može se matematički opisati Beer-Lambertovim zakonom

$$A = \epsilon bc$$

gdje je A apsorbancija na danoj valnoj duljini svjetlosti, ϵ je molarni apsorpcijski (ekstinkcijski) koeficijent ($\text{L mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$), svojstven svakoj molekulskoj vrsti i ovisan o valnoj duljini svjetlosti, b je duljina puta svjetlosti kroz uzorak (cm) a c je koncentracija tvari u otopini (mol L^{-1})⁷.

Denzitometar je uređaj koji mjeri faktor refleksije ili transmisije, odnosno omjer između upadnog svjetla usmjerenog na uzorak i reflektiranog ili propuštenog svjetla koji dođe do fotoćelije u uređaju. Na osnovi dobivenih informacija, denzitometar izračunava optičku gustoću (D), izraženu u obliku logaritamskih vrijednosti. Optička gustoća matematički se definira kao logaritamska vrijednost opaciteta (neprozirnosti). Dakle, optička gustoća je stupanj do kojeg materijali apsorbiraju svjetlo. Što je više svjetla apsorbirano, tj. što je manja refleksija ili transparentija površine, optička gustoća je veća. Za razliku od spektrofotometara, denzitometri nemaju definirani izvor svjetla. Pri mjerenju boja koristi filtere (definiranih karakteristika) komplementarne bojama čije se gustoće mjere. Koriste se filteri boja aditivne sinteze⁸.

Kod denzitometra je važno periodičko podešavanje. Uz denzitometre se dobivaju i etaloni zacrnjenja koji služe za podešavanje uređaja. Podešavanje nužno mora biti izvršeno barem jedanput godišnje. Etaloni zacrnjenja se troše kada dolazi do pomicanja unutar prozirne kutije u kojoj se čuvaju, te prilikom samog rukovanja etalomom (npr. masnoća s prstiju). Do trošenja etalona dolazi i prilikom prislanjanja etalona zacrnjenja na iluminator prilikom mjerenja zacrnjenja zbog povišene temperature svjetleće površine iluminatora, te prilikom izvođenja

⁶ Mihoci, M. (2015) Spektrofotometrijsko određivanje boje. Osvrti, Kem. Ind. 64 (11-12) (2015) 681–694

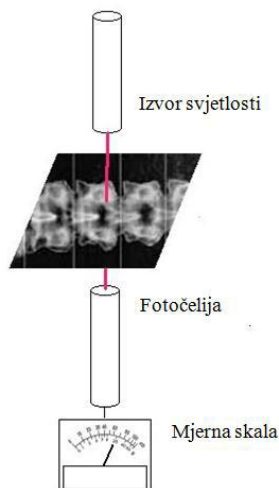
⁷ Kemijski riječnik. Spektrofotometar. glossary.periodni.com

<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektrofotometar>

⁸ Osnove o boji, 3. dio. str. 34.

repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%203.dio.pdf

mjerenja zacrnenja denzitometrom odnosno pri kontaktu denzitometra i etalona zacrnenja (utiskivanje, grebanje i sl.). Rok upotrebe nikad nije duži od nekoliko mjeseci. Kod industrijskih denzitometara se očekuje konstantna eksploatacija pa su izrađeni po standardima visoke kvalitete (24 satna eksploatacija)⁹.



Slika 5. Princip mjerenja denzitometrom. Cupar, F. (2012) Osiguravanje sljedivosti mjerenja zacrnenja radiograma. Diplomski rad, Fakultet strojarstava i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb. str. 5.

Kolorimetar (slika 6.) je uređaj koji mjeri tristimulusne vrijednosti boja (na način sličan ljudskom doživljaju boja), u pravilu podešenom prema krivulji standardnog promatrača. Mjerenje boja kolorimetrom temelji se na uspoređivanju ispitivane boje s bojom nastalom u kolorimetru miješanjem osnovnih boja aditivne sinteze, prema Grassmanovim zakonima. Većina kolorimetara prikazuje vrijednosti u jednom od CIE prostora boja (XYZ, LAB ili LUV). Jedna od najvažnijih prednosti kolorimetra je da omogućava izračunavanje ΔE razlike boja, na temelju razlika u svjetlini, tonu i kromatičnosti. Glavni nedostatak kolorimetra je nemogućnost registriranja metamernih boja. Oni su ograničeni na standardnog promatrača i

⁹ Cupar, F. (2012) Osiguravanje sljedivosti mjerenja zacrnenja radiograma. Diplomski rad, Fakultet strojarstava i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb. str. 5.

na samo jedan standardni izvor svjetla (D50 ili D65), pa ne mogu provjeriti da li se dva različita uzorka boja vizualno poklapaju pod različitim izvorima svjetla⁸.



Slika 6. Kolorimetar. Izvor: probus.hr

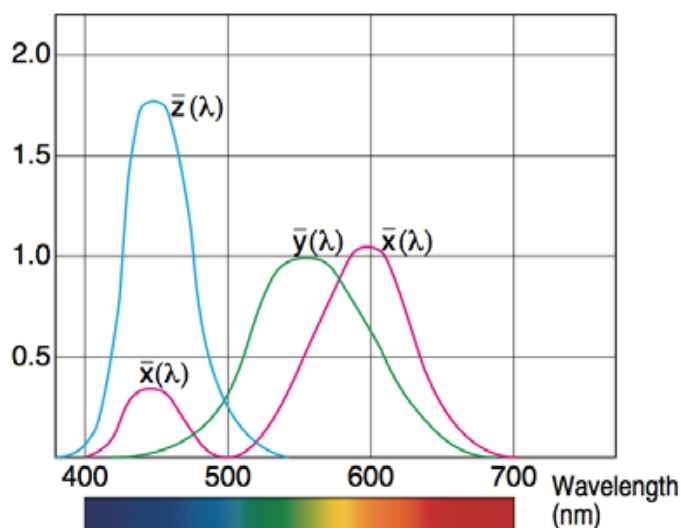
<http://www.probus.hr/images/stories/virtuemart/product/rgb1002.jpg>

⁸ Osnove o boji, 3. dio. str. 35.

3. CIE STANDARDS

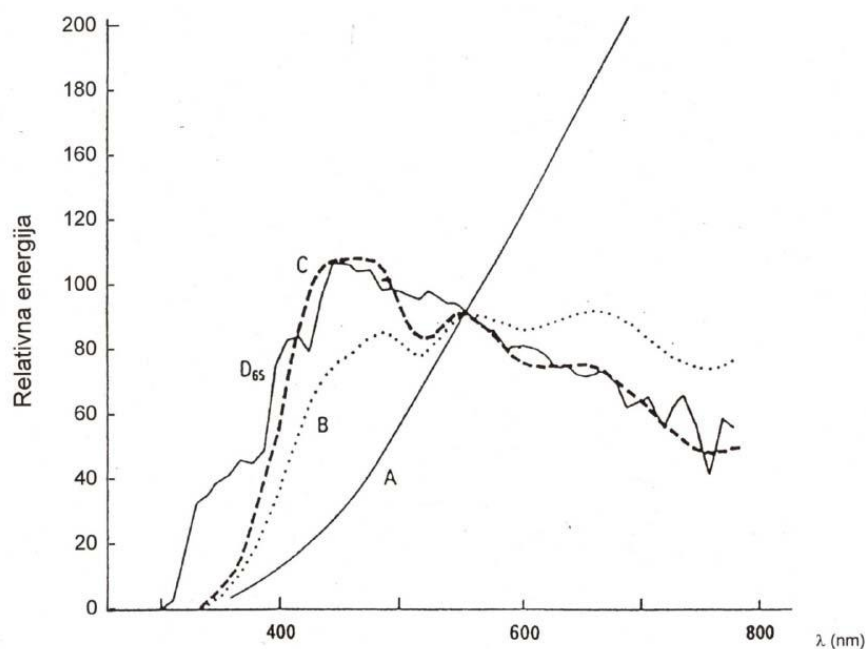
CIE (na francuskom je puni naziv Commission Internationale de l'Eclairage) je internacionalna komisija za rasvjetu, utemeljitelj znanosti o boji, razumijevanju nastanka boje, njenog instrumentalnog mjerenja i brojčanog vrednovanja. 1931.g. CIE komisija je definirala i standardizirala izvore svjetla i njihove raspodjele energije zračenja (slika). Definiran je pojam "standardni promatrač", što je statistički podatak dobiven nizom mjerenja u kojima su sudjelovali ljudi ispravnog vida⁴.

CIE Yxy je prvi objektivni prostor boja temeljen na izračunu koordinata boja x i y iz standardnih vrijednosti boja X,Y,Z. 1976.g. nastaje CIE LAB. To je prostor boja temeljen na objektivnom vrednovanju boja i najbliži je vizualnoj percepciji (slika 7.):



Slika 7. CIE 1931 - standardni promatrač Tristimulusne vrijednosti spektralnih boja. Izvor: Strgar Kurečić, M (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 17.

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 17.



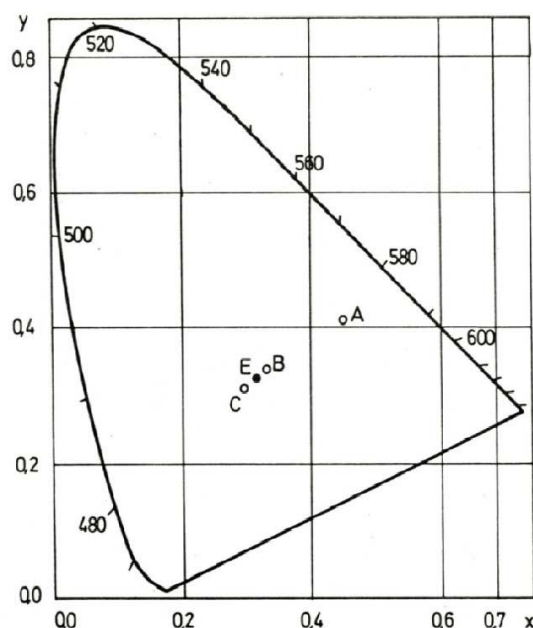
Slika 8. CIE standardna rasvjeta. Izvor: Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 18.

Gornja slika ukazuje na CIE standardnu rasvjetu gdje slova označuju iduće⁴:

- A → umjetno svjetlo (volframova žarulja)
- B → sunčevo svjetlo (podnevna)
- C → prosječno dnevno svjetlo
- D65 → prosječna dnevna rasvjeta
- D → izvedeni izvori svjetla.

CIE definira tri primarne hipotetske boje koje ne postoje i nisu vidljive, kako bi se izbjegli negativni koeficijenti. Boja se označava s 'XYZ', a koordinate kromatičnosti sa 'x y z'. Projekcija na XY ravninu daje dijagram kromatičnosti (slika 9.):

⁴Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 18.



Slika 9. Dijagram kromatičnosti u kojem je prikazana bijela boja (C, E, B, A) uz različita osvjetljavanja uzorka. Izvor: Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 19.

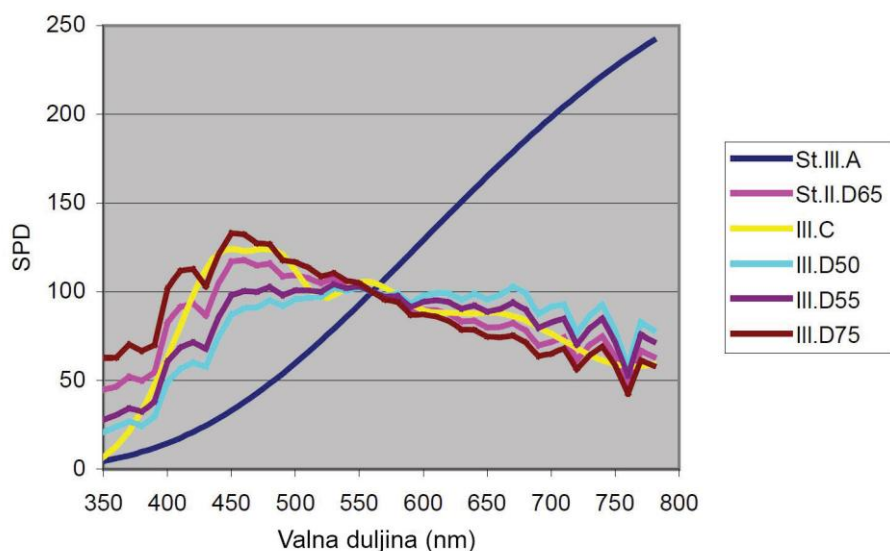
CIE je definirala spektar raspodjele energije zračenja različitih tipova bijelog svjetla i standardizirala vrste svjetlosti (rasvjete). Ta standardizirana vrsta svjetlosti naziva se illuminat¹⁰:

- *Illuminat A* - volframova žarulja temperature 2856K
- *Illuminat B* - sunčevo svjetlo (podnevno) temperature 4874K
- *Illuminat C* - rano dnevno svjetlo temperature 6774K
- *Illuminati* serije D predstavljaju standarde za dnevno svjetlo različite namjene od kojih su u upotrebi najviše:
 - D65 - dnevno svjetlo temperature 6504K
 - D50 - dnevno svjetlo temperature 5000K (standardno dnevno svjetlo za grafičku industriju)
- *Illuminat E* (*equal energy*) ne predstavlja stvarni izvor svjetla. To je teorijski illuminat "jednake energije". Ima konstantnu raspodjelu spektralne energije zračenja unutar

¹⁰ Schanda J. (2007) Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

vidljivog spektra. *Illuminat E* ima jednake XYZ tristimulusne vrijednosti te su njegove trikromatske koordinate $x=y=1/3$. U kolorimetriji koristi se za matematičke izračune.

- *Illuminati* serije F predstavljaju standarde za fluorescentno svjetlo.



Slika 10. Krivulje raspodjele spektralne energije zračenja za neke CIE standardne illuminate.

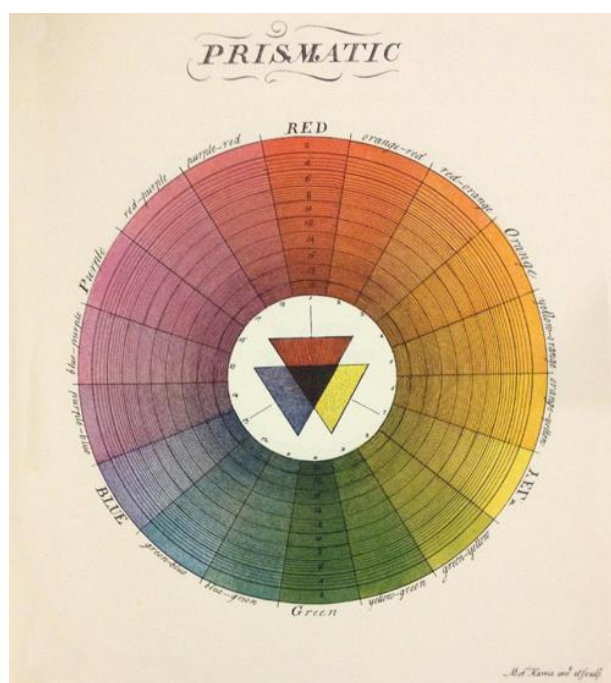
Izvor: Schanda J. (2007) Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

3.1 Prostori boja

Prostor ili model boja omogućuje definiranje i vizualizaciju boje. Boja je najčešće definirana trima koordinatama koje definiraju tri parametra boje. Ti parametri određuju položaj boje unutar korištenog prostora boja. Postoji mnogo prostora boja namijenjenih različitim područjima. Neki su prostori boja linearni (npr. RGB, CIE XYZ), što znači da će određeni iznos promjene podražaja izazvati jednak iznos promjene u percepciji određene boje, dok drugi nisu (npr. HSV). Neki su prostori boja intuitivni za korištenje, odnosno lako je s pomoću parametra u njima izabrati boju, dok je kod drugih to vrlo teško ili gotovo nemoguće. Neki prostori boja vezani su za uređaj na kojem su definirane boje i za njih se kaže da su

ovisni o uređaju (engl. *device dependent*). Kad se boje definirane u tim prostorima koriste na nekom drugom uređaju, nisu jednake kao na uređaju gdje su izvorno definirane⁵.

Najjednostavniji prikaz boja je dugin spektar. Ako se takva spektralna traka spoji na svojim krajevima, dobije se krug sličan onom kakvog je krajem 18. stoljeća konstruirao M. Harris (slika 11.). Iz njega miješanjem (preklapanjem) osnovnih ili primarnih boja (crvene, plave i zelene) nastaju izvedene, sekundarne boje (cijan, magenta, žuta), a njihovim daljnjim miješanjem nastaju varijacije. Krug boja dovoljno dobro prikazuje dvije dimenzije – obojenost i zasićenost – ali ne može prikazati svjetlinu⁵.



Slika 11. Harissov krug boja. Izvor:

colourontheconcrete.net<http://colourontheconcrete.net/wp-content/uploads/2015/05/prismatic.jpg>

RGB prostor boja definiran je s pomoću triju aditivnih primara: crvene, zelene i plave boje. Svaka boja u tom prostoru nastaje zbrajanjem pojedinih komponenata tih triju boja. RGB

⁵Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine građivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 11.

⁵ibid

model predstavljen je s pomoću kocke. Taj se prostor boja najčešće koristi u računalima, ali nije prikladan za čovjeka. Crvena, zelena i plava komponenta u međusobnoj su korelaciji tako da je čovjeku vrlo teško izborom tih komponenata definirati željenu boju u RGB prostoru boja. Stoga se najčešće koriste neki drugi modeli kao što je, primjerice, HSV prostor boja⁵.

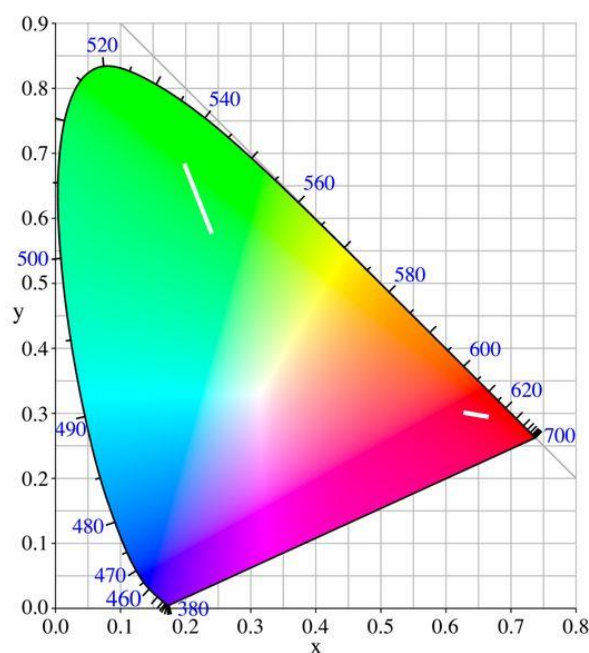
HSV prostor boja. HSV predstavlja skupinu sličnih prostora boja pod imenima HSI (intensity), HSV (value), HCI (chroma/colourfulness), HVC, TSD (hue, saturation, darkness). Definiran je trima parametrima: tonom boje (hue), zasićenjem (saturation) i svjetlinom (value, luminance). Ton boje predstavljen je kutom od 0° do 360°. Zasićenost boje ima vrijednost od 0% do 100%. Svjetlina boje ima vrijednost od 0% do 100%. HSV prostor boja predstavljen je s pomoću valjka. Često se taj prostor boja prikazuje i kao stožac ili šesterostrana piramida jer je percipirana promjena zasićenja boje od 0% do 100% manja za tamne boje (one koje imaju manju vrijednost svjetline), nego za svijetle boje (one koje imaju veću vrijednost svjetline). Da bi se nadoknadila ta razlika u percepciji, valjak se izobličuje u stožac. Pokazalo se da je u ovom prostoru boja čovjeku daleko lakše (intuitivnije) definirati i izabrati boju nego u RGB prostoru boja⁵.

3.2 CIE XYZ prostor boja

CIEXYZ model boja je jedan od prvih matematički definiranih modela boja, nastao je 1931. godine od strane organizacije CIE (eng. *International Commission on Illumination*). Razlog njegovog nastanka je da se što bolje opiše model boja koje prosječno ljudsko oko može vidjeti, u odnosu na RGB model boja, koji više ima namjenu opisati boje koje se mogu reproducirati standardnim uređajima ili snimiti kamerom. U ovom modelu boja X se može smatrati linearnom kombinacijom R, G i B boje, Y se može smatrati svjetlinom, dok Z komponenta odgovara donekle plavoj boji. Raspon boja koji se može dobiti XYZ modelom boja je prikazan xy kromatskim dijagramom:

⁵ Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 12.

⁵ ibid, str. 13.



Slika 12. CIE XYZ raspon boja. Izvor: artkarandash.ru <https://artkarandash.ru/wp-content/uploads/2017/12/71d-ciexy1931.jpg>

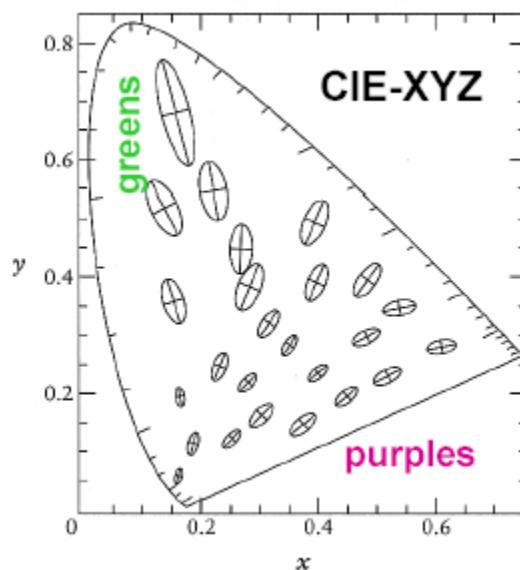
Slika ukazuje na iduće¹¹:

- rub potkove označava (eng. spectral locus) krivulju spektralnih boja
- ravna linija određuje dužinu purpurne boje (nespektarne boje) Npr. duga.
- boje u unutrašnjosti manje su zasićene od dominantne spektralne boje
- spektar zračenja crnog tijela - boja užarenog karbona, dnevna svjetlost 6 500 K.

C je zapravo standardno bijelo svjetlo (slika 13.), a njime se označavaju neuniformna područja. Komplementarne boje su one čijim se miješanjem može dobiti bijela boja. Smeđa boja je crveno narančasta uz manju svjetlinu (lightness)¹¹.

¹¹ Fer.hr. Grafički protočni sustav. zemris.fer.hr www.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/9_boje.pdf; str. 15.

¹¹ ibid, str. 16.



Slika 13. C i komplementarne boje. Izvor: Fer.hr. Grafički protočni sustav.
 zemris.fer.hrwww.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/9_boje.pdf ; str. 16.

Boja se definira izrazom¹⁰: $C = x(\lambda)X + y(\lambda)Y + z(\lambda)Z$

Za određivanje tristimulusnih vrijednosti boje nekog uzorka potrebno je izmjeriti faktor refleksije R uzorka u uvjetima CIE standardizirane rasvjete i CIE standardizirane geometrije promatranja. XYZ tristimulusne vrijednosti izračunavaju se matematički¹⁰:

$$X = k \int S(\lambda) R(\lambda) x(\lambda) d\lambda$$

$$Y = k \int S(\lambda) R(\lambda) y(\lambda) d\lambda$$

$$Z = k \int S(\lambda) R(\lambda) z(\lambda) d\lambda$$

$$k = 100 / \int S(\lambda) R(\lambda) y(\lambda) d\lambda$$

Raspon integrala je 380 - 780nm. $S(\lambda)$ predstavlja relativnu količinu energije koju zrači standardni izvor rasvjete upo jedinim dijelovima spektra. $R(\lambda)$ predstavlja spektralnu refleksiju uzorka; $x(\lambda)$, $y(\lambda)$, i $z(\lambda)$ su teorijske funkcije uspoređivanja boja; k je

¹⁰ Schanda, J. (2007) Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

¹⁰ ibid

normalizacijska konstanta koja se koristi kako bi raspon tristimulusnih vrijednosti iznosio 0 - 100 te kako bi Y za izvor svjetlosti iznosio 100¹⁰.

Iako CIE dijagram kromatičnosti i danas ima svoju primjenu u kolorimetriji postoji nekoliko nedostataka⁴:

- CIE dijagram kromatičnosti konstruiran je više za mjerenje boje izvora svjetla nego za mjerenje boje objekta
- položaj boje unutar tzv. potkove ovisi o izvoru svjetla - promjenom izvora mijenja se položaj bijele točke a time i položaj boja
- vidljivi nedostak je da zelena boja unutar dijagrama zauzima mnogo više prostora u usporedbi s brojem zelenih boja koje ljudsko oko može razlikovati
- CIE dijagram kromatičnosti ne pokazuje potpuno kako boja izgleda jer je boja definirana u dvodimenzionalnom prostoru bez svojstva svjetline
- jednaka udaljenost u dijagramu ne odgovara jednakim vizualnim razlikama.

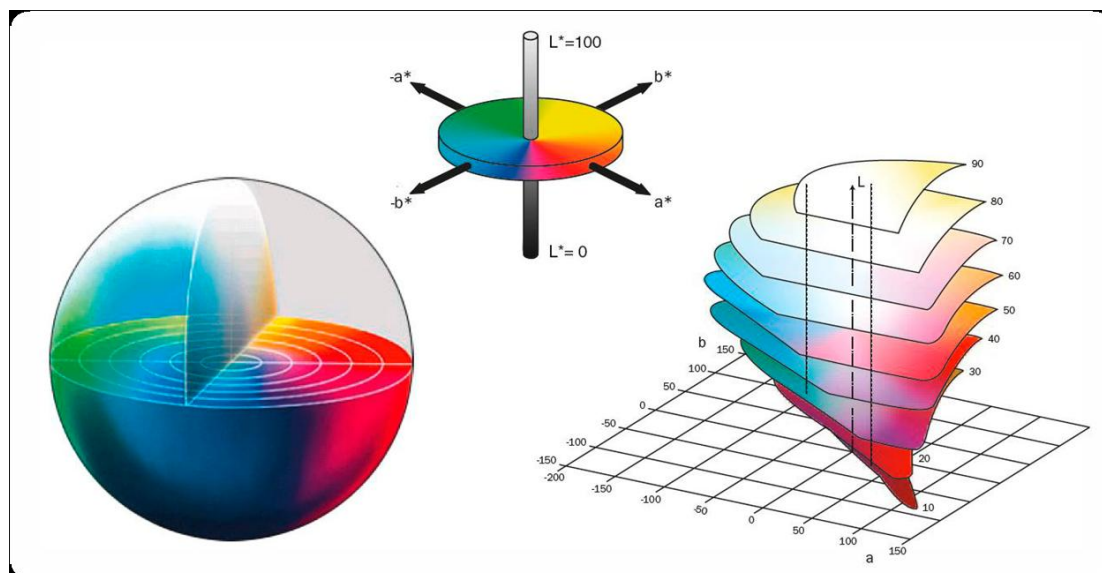
Kako bi se prevladala ograničenja standardnog kolorimetrijskog sustava, CIE je predložila istovrsne skale boja CIE L*a*b* (1976.) i CIE L*c*h°. Navedeni prostori gotovo su linearni s vizualnom percepcijom te razmaci između točaka odgovaraju razlici u percipiranim bojama. CIE L*a*b* je uniforman trodimenzionalni prostor boja dobiven pretvorbom x, y, z vrijednosti koordinatnog sustava u tri nove varijable: L*, a* i b* (x i $y = a^*$, z i $y = b^*$, $y = L^*$). U L*a*b* koordinatnom sustavu os L* predstavlja svjetlinu i ima raspon od 0 za potpuno crno do 100 za potpuno bijelo te je okomita na osi a* i b*. Osi a* i b* tvore ravninu "obojenih" tonova, pri čemu se u ishodištu koordinatnog sustava nalaze akromatske boje, a prema rubu boje postaju zasićenije. Os a* označava prijelaz od zelenog (- a*) prema crvenom (+ a*), a os b* od plavog (-b*) prema žutom (+ b*). Sve tri varijable daju numerički opis položaja boje u trodimenzionalnom prostoru. S obzirom na povezanost s vizualnom percepcijom, taj prostor boja vrlo je popularan u istraživanjima koja se bave bojom⁵.

¹⁰ Schanda, J. (2007) Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 22.

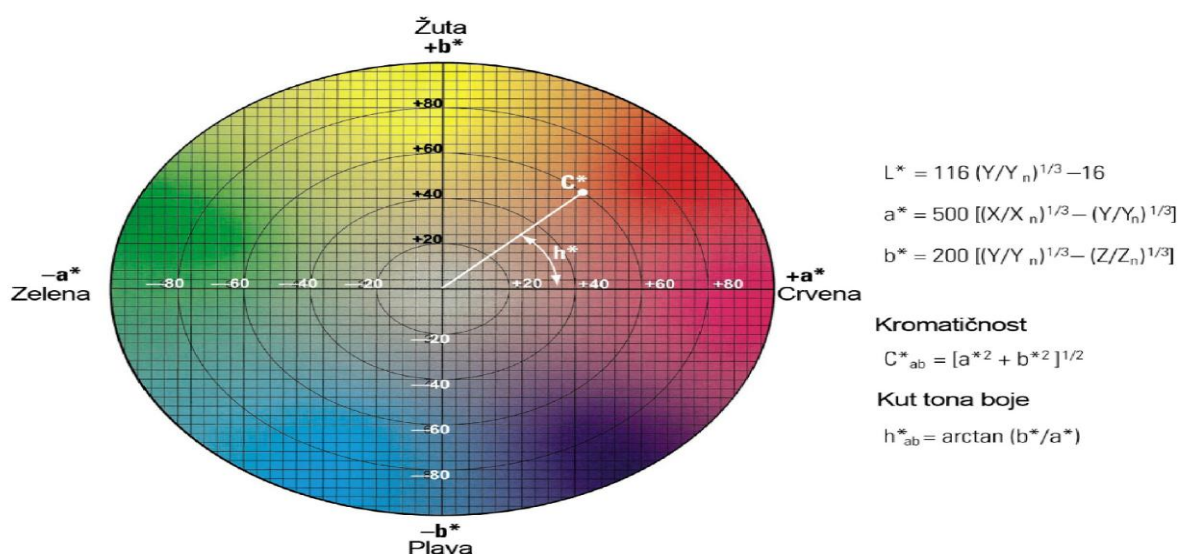
⁵ Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine građivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 14.

Dok CIE $L^*a^*b^*$ sustav koristi kartezijeve koordinate za izračun boje u prostoru (slika 14.a i 14.b), CIE $L^*c^*h^\circ$ koristi polarne koordinate. Takvo izražavanje može se izvesti iz CIE $L^*a^*b^*$ koordinatnog sustava pri čemu se ne mijenja distribucija boje, već se drugačije računa njezin položaj unutar koordinatnog sustava. U $L^*a^*b^*$ sustavu položaj boje opisuje se u odnosu na udaljenost od varijabli L^* , a^* i b^* , dok se u CIE $L^*c^*h^\circ$ sustavu položaj boje opisuje u odnosu na udaljenost od varijable L^* , c^* (*chroma* – intenzitet boje, zasićenost) te kutom h° (*hue* – nijansa) koji položaj boje zatvara s osi a^* . Kut vektora $h^\circ a^*b^*$ (kut boje) definira ton boje u ravni koju tvore osi a^* i b^* . Pri tome 0° označava crveno, a 90° žuto. Duljina vektora $h^\circ a^*b^*$ označava se kao zasićenost c , a ona se kreće od 0 do 60 pri čemu 60 označava potpunu zasićenost⁵.



Slika 14.a. CIE lab. Izvor: Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 23.

⁵ Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine građivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb. str. 15.

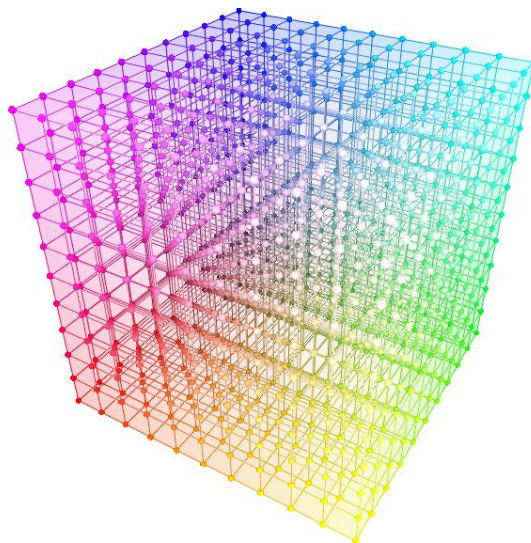


Slika 14.b. CIE lab. Izvor: Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb. str. 24.

3.3 RGB prostori boja

RGB prostor boja je prostor koji za prikaz boja koriste monitori, digitalne i videokamere, skeneri, televizijski uređaji. RGB prostor boja temelji se na aditivnom RGB modelu. Definiran je sa tri primarne boje aditivne sinteze - crvenom, plavom i zelenom te tzv. bijelom točkom (set kromatskih koordinata koji definiraju bijelu boju). Raspon boja (gamut) je podskup boja unutar određenog prostora boja. RGB model predstavljen je pomoću kocke, gdje crvena boja predstavlja x-os, zelena boja y-os, a plava boja z-os. Slika 15 prikazuje model RGB prostora boja. Taj se prostor boja najčešće koristi u računalima. Svaka boja najčešće je predstavljena sa 8-bitom, odnosno vrijednostima od 0 do 255 (256 vrijednosti). To daje ukupno $256^3 = 16777216$ mogućih boja. U različitim računalnim programima za obradu slike najčešće se navodi podatak o 16 milijuna boja ili naziv engl. *true color*. Najčešće se taj prostor boja normira na vrijednosti od 0 do 1. RGB prostor boja jednostavan je za računalno, ali nije prikladan za čovjeka. Crvena, zelena i plava komponenta međusobno su korelirane tako da je čovjeku vrlo teško izborom tih komponenata definirati željenu boju u RGB prostoru boja.

Stoga se najčešće koriste neki drugi prostori boja kao što su npr. HSV (HSI, HSB) ili HSL prostor boja¹.



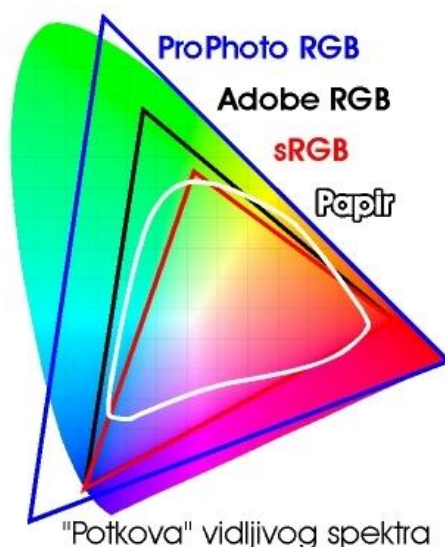
Slika 15. Model RGB prostora boja. Izvor: Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje.
racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 7.

Glavna svrha RGB modela je prikazivanje boja u elektroničkim sustavima. U grafičkoj industriji to su ulazni uređaji - digitalne kamere, skeneri te izlazni uređaji - monitori, ekrani mobilnih telefona, projektori. U RGB modelu boja se definira setom od tri broja koji označavaju koliko je primarne boje - crvene, zelene i plave uključeno u datu boju. Vrijednosti te tri komponente imaju raspon od nule do maksimalne vrijednosti koja ovisi o načinu numeričkog označavanja RGB modela. Ako su vrijednosti sve tri komponente 0 prikazuje se crna boja, ako su sve tri komponente maksimalne vrijednosti prikazuje se bijela boja. Vrijednosti mogu biti izražene u postocima (npr. za crvenu boju: 100%, 0%, 0%), decimalnim brojevima između 0 i 1 (1.0, 0.0, 0.0) te cijelim brojevima u rasponu 0 do 255. Za 8 bita po kanalu to je 0 - 255 (255, 0, 0). Postoje i *high end* uređaji koji koriste 10, 16, 24, 32 ili 48 bitne kanale te se za njih koriste odgovarajuće vrijednosti¹².

¹ Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 7.

¹² Süssstrunk, S. i sur. (1999) Standard RGB Color Spaces. Laboratory of audio-visual Communication (EPFL), Xerox Architecture Center, Apple Computer, Lausanne, Switzerland

Postoji više RGB prostora koji se razlikuju po rasponu boja (gamut), bijeloj točki (izvor svjetla koji koristi prostor boja) te primarnim bojama. Danas su najviše u upotrebi sRGB i AdobeRGB prostori¹³:



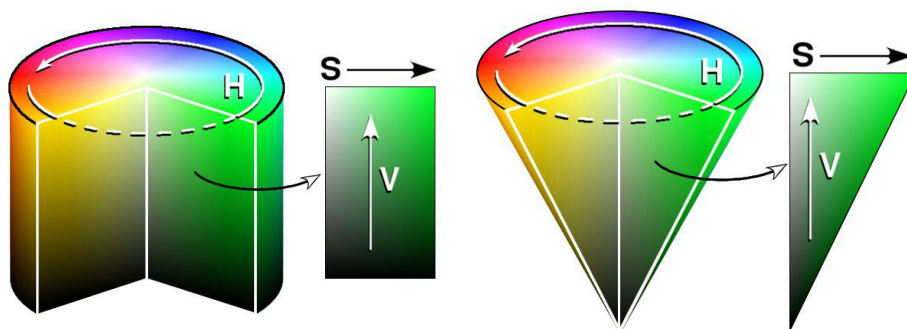
Slika 16. Različiti RGB prostori boja unutar CIE dijagrama kromatičnosti. Izvor: fotografija.hr https://fotografija.hr/images/stories/mimi/Gamut_01.jpg

3.4 HSV prostor boja

HSV prostor boja stvorio je A. R. Smith 1978. Taj prostor boja definiran je s tri koordinate: tonom boje (engl. *hue*), zasićenjem boje (engl. *saturation*) i svjetlinom boje (engl. *value*, *intensity*, *brightness*). Ton boje predstavljen je kutom od 0° do 360°. Zasićenost boje ima vrijednost od 0% do 100%. Svjetlina boje ima vrijednost od 0% do 100%. HSV prostor boja predstavljen je pomoću valjaka. Često se taj prostor boja prikazuje kao stožac ili šesterostrana piramida, jer je percipirana promjena zasićenja boje od 0% do 100% manja za tamne boje (one koje imaju manju vrijednost svjetline) nego za svijetle boje (one koje imaju veću vrijednost svjetline). Da bi se nadoknadila ta razlika u percepciji, valjak se izobličuje u stožac. Slika 17. prikazuje model HSV prostora boja kao valjak i kao stožac. Pokazalo se da je u ovom prostoru boja čovjeku daleko lakše (intuitivnije) definirati i izabrati boju nego u RGB

¹³ Kuhar, M. (2009) Gamut ili zašto je ponekad WYSIWYG* WYGIWYS. fotografija.hr <https://fotografija.hr/gamut/>

prostoru boja. Često se vrijednosti tona, zasićenja i svjetline boje normiraju na vrijednosti od 0 do 1¹.



Slika 17. Model HSV prostora boja predstavljen pomoću valjka i stošca. Izvor: Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 8.

¹ Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf . str. 8.

4. UPRAVLJANJE PROSTOROM BOJE

Pojavom digitalnih tehnologija, tradicionalne metode više nisu bile dovoljne za kvalitetno upravljanje bojom te se javlja potreba za razvojem novih strategija. Najavu digitalno potpomognute reprodukcije boje u grafičkoj industriji, označila je pojava Crosfieldovog kolor skenera Magnascan 450, 1969. godine. Tri godine kasnije, na tržištu se pojavio prvi komercijalni skener Hell DC 300 Chromagraph. U to vrijeme, većina reproduksijskih sustava bila je definirana i kalibrirana kao zatvoreni sustav, gdje su transformacije boja bile optimizirane za točno određeni par ulazno-izlaznih uređaja. Nakon transformacije među uređajima boje nisu bile iste. Radi rješavanja tog problema i stvaranja određenih industrijskih standarda, 1993. godine osnovan je International Color Consortium (ICC) . To udruženje tvrtki osnovano s ciljem izrade i promoviranja otvorenog, primjenjivog na različite platforme i neutralnog (neovisnog o proizvođaču) sustava za upravljanje bojom, nazvanog ICC Color Management. Osnivači su osam velikih svjetskih tvrtki: Adobe Systems Incorporated, Agfa-Gevaert N.V., Apple Computer, Eastman Kodak, Microsoft, Silicon Graphics, Sun Microsystems i Taligent. Najvažniji proizvod ove grupe je specifikacija ICC profila koji čine osnovu sustava za upravljanje bojom. Prvi profili pojavili su se na tržištu početkom 90-tih, a profili koji su danas u upotrebi razvijeni su na temelju Appleovih ColorSync profila. Color Management je koncept koji definira transformacije boja nezavisne o uređaju, a javio se 1993, s ciljem da osigura što točniju i precizniju reprodukciju boja neovisno o korištenom uređaju¹⁴. Color Management je programska podrška za kalibraciju i karakterizaciju svih ulaznih i izlaznih uređaja unutar reproduksijskog lanca, te za automatizaciju svih potrebnih konverzija boja među uređajima, sa ciljem standardizacije reproduksijskih procesa i postizanja željene reprodukcije boja neovisno o korištenom uređaju. Svaki uređaj, od skenera do tiskarskog stroja, ima svoje sposobnosti i ograničenja prikazivanja boja. Ne postoje dva uređaja ili procesa s potpuno istovjetnom sposobnošću prikaza boje, tj. gamutom. Kako bi se u tom lancu rada s bojom što je moguće točnije zadržale karakteristike originalne slike, koristi se sustav u kojemu se pokušavaju uskladiti boje od uređaja do uređaja¹⁴.

¹⁴ Mazalik, M.; Martinić, M. (2011) Značenje Color Management Sustava. Seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb. str. 5.

¹⁴ ibid, str. 6.

4.1 Referentni prostor boja

Osnovu rada Color Management sustava čine tri povezane cjeline⁴:

1. referentni prostor boja (Profile Connection Space - PCS)
2. modul sa algoritmima za usklađivanje boja (Color Management Module - CMM)
3. ICC profili

Kao dio sustava, točnije kao parametri profila, postoje i tzv. 'Rendering Intents' - načini na koje Color Management sustav smješta i usklađuje boje koje se prilikom konverzije nađu izvan odredišnog opsega boja (gamuta izlaznog uređaja). Prostori boja mogu biti podijeljeni u dvije osnovne grupe⁴:

- prostori boja ovisni o uređaju (device dependent)
- prostori boja neovisni o uređaju (device independent).

Prostori boja koji su ovisni o uređaju na kojem se primjenjuju, orijentirani su na fizičke komponente i karakteristike samog uređaja, tj. ovise o kromatskim karakteristikama seta primarnih boja koji se koristi kod procesa bojanja. Procesne boje koje se koriste u tisku uvijek se nazivaju CMYK, iako npr. magenta otisnuta na jednom uređaju može izgledati više žučkasto, a na drugom više plavkasto. Isto tako, kod uređaja koji koriste primarne boje aditivne sinteze, boja varira ovisno o korištenim RGB fosforima (kod monitora) ili korištenim RGB filterima (kod senzora skenera i digitalnih fotoaparata). Posljedica toga je da će isti niz RGB ili CMYK vrijednosti producirati različite boje na različitim uređajima, (ili na istom uređaju, ako se npr. koristi druga vrsta papira)⁴.

Prostori boja neovisni o uređaju, definiraju boju na bazi percepcije standardnog promatrača, a ne na mogućnostima uređaja. Najvažnija grupa prostora boja neovisnih o uređaju, temelji se na postavkama CIE komisije iz 1931. i 1964. godine. Zbog nedostataka XYZ prostora boja, prvenstveno zbog perceptualne neuniformiranosti, CIE komisija definirala je 1976. godine CIELAB i CIELUV prostore boja, u kojima udaljenost između bilo koje dvije boje u prostoru

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb; u: Katedra za reproduksijsku fotografiju. 4. predavanje, Uloga sustava za upravljanje bojom (colour management). Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb. str. 4.

⁴ ibid

⁴ ibid

odgovara osjetilnoj blizini te dvije boje. Većina Color Management sustava, kao referentni prostor boja, koristi CIELAB prostor boja, koji je prihvaćen kao standard za mjerenje i uspoređivanje boja u grafičkoj inustriji. Uloga referentnog prostora boja unutar Color Management sustava je da predstavlja vezu između različitih uređaja koji sudjeluju u reprodukcijском procesu. On omogućuje konverziju boja iz prostora ovisnog o uređaju u CIELAB prostor boja (uz korištenje pripadajućih profila uređaja). U praksi, do konverzije boja dolazi kad je vrijednosti originala potrebno prebaciti u vrijednosti određene izlazne jedinice. RGB vrijednostima boja koje su nastale digitalizacijom slike pomoću skenera ili digitalnog fotoaparata, pridružuju se vrijednosti kojima je ista boja opisana u referentnom prostoru. Jednom kad se RGB ili CMYK vrijednostima pridruže CIELAB vrijednosti, boje postaju neovisne o uređaju⁴.

4.2 Usklađivanje boje

Godine 2001. ICC je definirao i standardizirao četiri osnovna načina mapiranja gamuta, s obzirom na namjeru prikaza informacija o boji⁴:

- perceptualno usklađivanje (Perceptual Rendering Intent),
- relativno kolorimetrijsko usklađivanje (Relative Colorimetric Rendering Intent),
- apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje (Absolute Colorimetric Rendering Intent) i
- saturacijsko usklađivanje (Saturation Rendering Intent).

Perceptualno usklađivanje sve boje ulaznog gamuta ravnomjerno komprimira, kako bi u potpunosti stale u gamut izlaznog uređaja. Takvim prevođenjem mijenjaju se sve boje originala, pa čak i one koje se mogu prevesti u izlazni gamut bez promjena. Točnost kolorimetrijskih karakteristika boje, izmijenjena je u korist ukupnog perceptualnog doživljaja, koji se temelji na zadržavanju relativnog odnosa među bojama⁴.

Kod relativnog kolorimetrijskog usklađivanja sve boje koje pripadaju gamutima i ulaznog i izlaznog uređaja, ostaju nepromijenjene. Boje koje su izvan gamuta izlaznog uređaja, mapiraju se u najbliže boje iste svjetline (ovisno o crnoj i bijeloj točki), ali različitog zasićenja

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb; u: Katedra za reprodukcijску fotografiju. 4. predavanje, Uloga sustava za upravljanje bojom (colour management). Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb.str. 5.

⁴ ibid, str. 9.

⁴ ibid

koje se nalaze na granicama gamuta izlaznog uređaja. Time se nastoji zadržati što više boja iz izvornog opsega. Prema tome, i boje se prilagođavaju bijeloj boji papira.

Metoda koristi se za općenite namjene, najčešće za skenirane fotografije i za konverzije boja između prostora boja koji imaju podjednake veličine⁴.

Kod apsolutnog kolorimetrijskog usklađivanja sve boje koje pripadaju gamutima i ulaznog i izlaznog uređaja, ostaju nepromijenjene. Boje koje su izvan gamuta izlaznog uređaja, mapiraju se u najbliže boje različitog zasićenja, koje se nalaze na granicama izlaznog gamuta. Na taj način nastoji se prikazati što je moguće više izvornih boja. Apsolutno kolorimetrijsko usklađivanje ne smije se koristiti za konverziju boja u konačni opseg koji se šalje u tisak već samo za simulaciju bijele boje na monitoru ili probnom otisku. Metoda je prikladna i za prilagodbu spot boja⁴.

Kod saturacijskog usklađivanja sve boje koje su izvan gamuta izlaznog uređaja, obično se preslikavaju u najbliže korespondirajuće boje istog zasićenja, dok svjetlina i ton mogu biti promijenjeni. Kolorimetrijska točnost između originala i reprodukcije kod saturacijskog usklađivanja rijetko je postignuta jer ne predstavlja prioritet reprodukcije. Ova metoda je prikladna za grafove, logotipe ili tablice, gdje su žive, zasićene boje bitnije nego točan odnos među bojama⁴.

4.3 Kontrola kvalitete reprodukcije boja

Uključivanje Color Managementa u tijek grafičke produkcije, zahtijeva poznavanje osnova kolorimetrije, naučne discipline koja se bavi mjerenjem i uspoređivanjem boja. Potreba za instrumentalnim mjerenjem boja, prisutna je u fazi kalibracije i karakterizacije uređaja koji sudjeluju u reprodukcijском procesu, kao i u završnoj fazi kontrole kvalitete reprodukcije boja. Mjerni uređaji koji se koriste za kontrolu kvalitete u toku reprodukcijского procesa su: denzitometri, kolorimetri i spektrofotometri⁴.

Najtočnije informacije o boji postižu se spektrofotometrijskim mjerenjima. Dobivene spektralne vrijednosti boje, mogu se određenim matematičkim postupcima (preko CIEXYZ

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb; u: Katedra za reprodukcijску fotografiju. 4. predavanje, Uloga sustava za upravljanje bojom (colour management). Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb. str. 9.

⁴ ibid, str. 10.

⁴ ibid

⁴ ibid, str. 17.

modela) prevesti u bilo koji oblik tristimulusne informacije, koje se mogu dalje koristiti za konstrukciju tristimulusnih modela prikaza boja (kao npr. CIELAB). Iz dobivenih vrijednosti, matematičkim izrazima za ukupnu kolorimetrijsku razliku, mogu se dobiti objektivni podaci o kvaliteti reprodukcije boja. Pojam "mjerjenje boja" je tipičan primjer oksimorona, spoja dviju nespojivih riječi. Boja se ne može mjeriti. Boja nije svojstvo fizičkog svijeta, već psihički doživljaj izazvan fizičkim podražajem (stimulusom). Ono što je moguće mjeriti je upravo taj stimulus, tj. svjetlo koje je ušlo u promatračevo oko i u njegovom mozgu proizvelo doživljaj boje. Stimulus koji izaziva doživljaj boje, u fizičkom je pogledu određen ukupnim intenzitetom zračenja, odnosno ukupnom količinom energije koju on prenosi u jedinici vremena na mrežnicu oka i raspodjelom te energije na različite valne dužine. Tri uređaja koji se koriste za "mjerjenje" boje su već ranije spomenuti denzitometar, kolorimetar, spektrofotometar⁴.

⁴ Strgar Kurečić, M. (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb; u: Katedra za reproduksijsku fotografiju. 4. predavanje, Uloga sustava za upravljanje bojom (colour management). Grafički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb. str. 17.

ZAKLJUČAK

Sve boje potječu iz istog izvora i umjesto čvrste fizičke komponente, one posjeduju karakter osjetilnog podražaja. U svakodnevici su boje subjektivan doživljaj pojedinca, a koji ovisi o brojnim okolnim čimbenicima. Najčešće se promatraju u određenom kontekstu, što značajno utječe na njihovu percepciju. Svaka boja sa sobom nosi određene asocijacije koje proizlaze iz njenih vizualnih svojstava ali i kulturnog i društvenog konteksta. Brojčano kasificiranje razlike između dvije boje, npr. standarda i reproducirane boje je razvojem formula za određivanje ukupne razlike između boja postalo sve preciznije te danas ima veliku primjenu u grafičkoj industriji.

Color Management je programska podrška za kalibraciju i karakterizaciju svih ulaznih i izlaznih uređaja unutar reprodukcijaskog lanca, te za automatizaciju svih potrebnih konverzija boja među uređajima, sa ciljem standardizacije reprodukcijaskih procesa i postizanja željene reprodukcije boja neovisno o korištenom uređaju. Svaki uređaj, od skenera do tiskarskog stroja, ima svoje sposobnosti i ograničenja prikazivanja boja. Ne postoje dva uređaja ili procesa s potpuno istovjetnom sposobnošću prikaza boje, tj. gamutom. Kako bi se u tom lancu rada s bojom što je moguće točnije zadržale karakteristike originalne slike, koristi se sustav u kojemu se pokušavaju uskladiti boje od uređaja do uređaja. Kako bismo opisali boju koju vidimo i s kojom radimo, koristimo modele za prikaz boje: RGB, CMYK, CIELAB, CIEXYZ. Putem numeričkih vrijednosti modeli za prikaz boje na različit način opisuju i klasificiraju boju.

LITERATURA

- [1] Racunala.ttf.hr. Boja i atributi boje. racunala.ttf.unizg.hr/files/Boja_i_atributi_boje.pdf
- [2] Tkalac Verčić, A.; Kuharić Smrekar, A. (2007) Boje u marketinškoj komunikaciji: određenje uloge boje kao medijatorne varijable u procesu komunikacije. Tržište 19, 2(2007), Vol. XIX (2007), br. 2
- [3] Šela, D. (1999) Crtanje, pismo, boje i djelovanje boja: priručnik o prostoručnom crtanju, crtanju perspektive, ukrasnom pismu i znanosti o bojama. Zagreb: vlast. nakl., 1999
- [4] Strgar Kurečić, M (2007) Uvođenje CGRT testne karte boja za karakterizaciju digitalnog fotografskog sustava. Doktorska disertacija. Grafički fakultet, Zagreb
- [5] Milardović Ortolan, S. (2014) Utjecaj biološke osnove, optičkih svojstava i debljine gradivnih i fiksacijskih materijala na boju nadomjeska od litij-disilikatne staklokeramike. Sveučilište u Zagrebu, Stomatološki fakultet, Zagreb
- [6] Mihoci, M. (2015) Spektrofotometrijsko određivanje boje. Osvrti, Kem. Ind. 64 (11-12) (2015)
- [7] Kemijski riječnik. Spektrofotometar. glossary.periodni.com
<https://glossary.periodni.com/glosar.php?hr=spektrofotometar>
- [8] Osnove o boji, 3. dio. repro.grf.unizg.hr/media/download_gallery/OSNOVE%20O%20BOJI%203.dio.pdf
- [9] Cupar, F. (2012) Osiguravanje sljedivosti mjerenja zacrnjenja radiograma. Diplomski rad, Fakultet strojarstava i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, Zagreb
- [10] Schanda J. (2007) Colorimetry: understanding the CIE system. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey
- [11] Fer.hr. Grafički protočni sustav. zemris.fer.hr
www.zemris.fer.hr/predmeti/irg/predavanja/9_boje.pdf
- [12] Süssstrunk, S. i sur. (1999) Standard RGB Color Spaces. Laboratory of audio-visual Communication (EPFL), Xerox Architecture Center, Apple Computer, Lausanne, Switzerland
- [13] Kuhar, M. (2009) Gamut ili zašto je ponekad WYSIWYG* WYGIWYS. fotografija.hr
<https://fotografija.hr/gamut/>
- [14] Mazalik, M.; Martinić, M. (2011) Značenje Color Management Sustava. Seminarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Grafički fakultet, Zagreb